


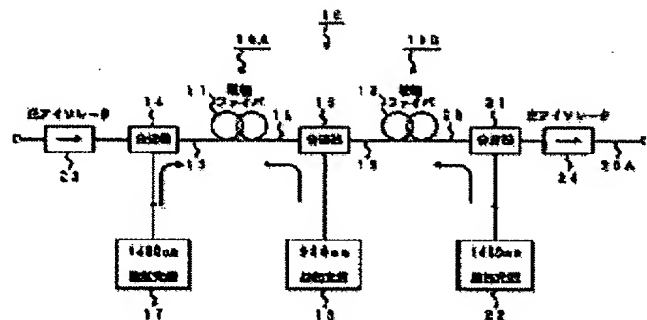


**OPTICAL FIBER AMPLIFIER****Publication number:** JP10163554**Publication date:** 1998-06-19**Inventor:** OGOSHI HARUKI; TACHIBANA HIRONORI**Applicant:** FURUKAWA ELECTRIC CO LTD**Classification:****- International:** H01S3/10; H01S3/06; H01S3/067; H01S3/094;  
H01S3/10; H01S3/06; H01S3/094; (IPC1-7): H01S3/10**- European:** H01S3/067G2**Application number:** JP19960331596 19961127**Priority number(s):** JP19960331596 19961127; US19970970540 19971114**Also published as:** EP0845840 (A);  
 US6028698 (A);  
 EP0845840 (A);**Report a data error he****Abstract of JP10163554**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical fiber amplifier which provides a high output over +20dBm with the noise characteristics suppressed, even for a high signal level of an input light. **SOLUTION:** A front and back stages 10A, 10B have a front and back stage amplifier optical fibers 11, 12. The front stage amplifier optical fibers 11 has a first combiner 14 for combining exciting light in the same direction as a signal light at a signal light input 13 and second combiner 16 for combining the exciting lights in the direction apposite to the signal light. The back stage amplifier optical fiber 12 has a third combiner 14 for combining the exciting lights the direction opposite to the signal light with the signal light input 19 connected to the output of the second combiner 16. A first exciting optical source 17 for generating an exciting light at 1480nm, second exciting optical source 18 for generating an exciting light at 980nm, and third exciting optical source 22 for generating an exciting light at 1480nm are connected to the first, second and third combines 14, 16, 21, respectively.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-163554

(43)公開日 平成10年(1998)6月19日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

FI

H01S 3/10

H O 1 S 3/10

$$\mathbf{Z}$$

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平8-331596

(22)出願日 平成8年(1996)11月27日

(71)出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72)発明者 大越 春喜

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電氣工業株式会社内

(72) 発明者 橋 広紀

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

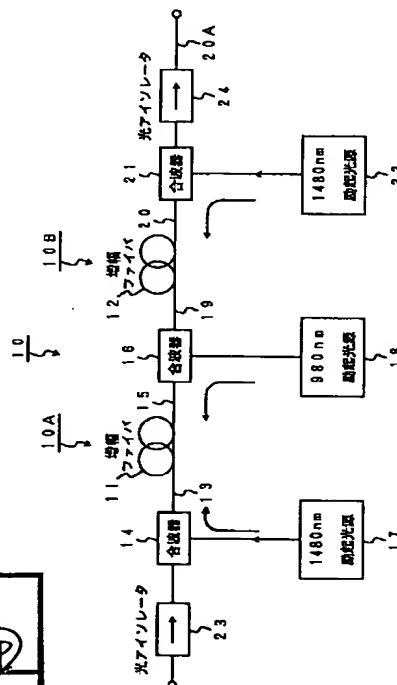
河電氣工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅装置

(57) 【要約】

【課題】 入力光の信号レベルが高い場合でも、雑音特性を低く押さえたまま、+20dBmを上回る高出力な光ファイバ増幅装置を提供する。

【解決手段】 前段部１０Ａと後段部１０Ｂに前段部増幅光ファイバ１１と後段部増幅光ファイバ１２を備え、前段部増幅光ファイバ１１は信号光入力端１３に信号光と同方向に励起光を合波する第一の合波器１４と信号光出力端１５に信号光と逆方向に励起光を合波する第二の合波器１６を有し、後段部増幅光ファイバ１２は信号光入力端１９が第二の合波器１６の出力端に接続され信号光出力端２０に信号光と逆方向に励起光を合波する第三の合波器２１を有し、第一の合波器１４には波長１４８０nmの励起光を発生する第一の励起光源１７が、第二の合波器１６には波長９８０nmの励起光を発生する第二の励起光源１８が、第三の合波器２１には波長１４８０nmの励起光を発生する第三の励起光源２２がそれぞれ接続されている。



FP00-0329

08. 7. 01

# OA

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 前段部と後段部にそれぞれ希土類元素を添加した前段部増幅光ファイバと後段部増幅光ファイバを備えた光ファイバ増幅装置であって、前記前段部増幅光ファイバは信号光入力端に信号光と同方向に励起光を合波する第一の合波器と信号光出力端に信号光と逆方向に励起光を合波する第二の合波器を有し、前記後段部増幅光ファイバは信号光入力端が前記第二の合波器の出力端に接続され信号光出力端に信号光と逆方向に励起光を合波する第三の合波器を有し、前記第一の合波器には波長1480nmの励起光を発生する第一の励起光源が、前記第二の合波器には波長980nmの励起光を発生する第二の励起光源が、前記第三の合波器には波長1480nmの励起光を発生する第三の励起光源がそれぞれ接続されていることを特徴とする光ファイバ増幅装置。

【請求項2】 第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に光アイソレータが配置されていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ増幅装置。

【請求項3】 第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に1530nm波長帯をカットするノッチフィルタが配置されていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ増幅装置。

【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光映像分配システムや波長多重通信に使用される光ファイバ増幅装置に関するもので、更に詳しくは高出力で低雑音な光ファイバ増幅装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 Erドープ光ファイバ増幅装置（以下、単に光ファイバ増幅装置という）では、励起光源として波長980nm および1480nmが一般的に用いられている。励起光源として波長980nm を用いた場合、光ファイバ増幅装置の雑音指数（Noise Figure, NF）は3dBとなり大変良好である。しかし、波長980nm で励起した場合、励起光のエネルギーが信号光のエネルギーに変換される効率は約50%とあまり良くない。

【0003】 この変換効率は本質的なものであり、次の（1）式より計算できる。

$$\text{変換効率} = (\text{プランク定数} \times \text{信号光の振動数} / \text{プランク定数} \times \text{励起光の振動数}) \cdots (1)$$

この式で計算できる値は理論限界値である。したがって、実際の変換効率は光ファイバ増幅装置の構成により異なり、理論値よりは当然小さな値となる。波長980nmで励起した場合の雑音指数については、例えば Optical Society of America 主催の国際会議 Topical Meeting on Optical Amplifiers (1990年8月開催) における講演番号TuB3 (134 ~137 ページ) に発表されている。また、実際の光ファイバ増幅装置における変換効率の特性例については、例えば前述した国際学会の講演番号MB3 (16~19ページ) に発表されている。

【0004】 波長1480nmで励起した場合の、光ファイバ増幅装置の雑音指数は6dB ~9dB となり、波長980nmで励起した場合と比較すると良くない。しかしながら、前述の変換効率を示す（1）式から判るように、例えば信号光波長を、例えば1530nmとした場合、励起光波長と信号光波長が近い場合、変換効率は70% ~85% と良好である。波長1480nmで励起した場合の雑音指数については、例えばOptical Society of America主催の国際会議 Topical Meeting on Optical Amplifiers (1990年8月開催) における講演番号MD7 (68~71ページ) に発表されている。更に、波長1480nmで励起した場合の実際の変換効率の例については、例えば前述した国際学会の講演番号TuC3 (156 ~159 ページ) に発表されている。

【0005】 ところで近年、光通信網の発展により、例えば光映像分配システムにおいても分岐数の増大、波長多重通信における波長数の増大のためより高出力でかつ低雑音の光ファイバ増幅装置が求められている。そのため、従来は+16dBm~+19dBm程度の光出力で十分であった

ものが、+20dBm以上という高出力の光ファイバ増幅装置が要求されている。ここで、高出力で低雑音の光ファイバ増幅装置を実現する方法として、前述した波長980nm励起の低雑音特性と波長1480nm励起の高出力特性を組み合わせた光ファイバ増幅装置が特開平4-149525号公報で提案されている。図6は特開平4-149525号公報の光ファイバ増幅装置60を示すもので、増幅光ファイバ61の入力側に波長980nmの励起光源62を、増幅光ファイバ61の出力側に波長1480nmの励起光源63を配置したものである。図6において64は光合波器である。また、同様の光ファイバ増幅装置が米国特許第5140456号で提案されている。

【0006】 図7（イ）は図6に示した光ファイバ増幅装置の出力特性、図7（ロ）は図6に示した光ファイバ増幅装置の雑音特性を示すものである。使用している励起光源は、波長980nmの励起光源62は90mW、波長1480nmの励起光源63は140mWで、いずれも励起LDモジュールの光ファイバービグテイル出力である。単体の励起LDモジュールの出力としては、現時点では実用的に実現できる最大クラスの出力である。図7（イ）（ロ）に示すように、この場合雑音特性は良好であるが得られる出力は、せいぜい+19dBm~+20dBm程度である。

【0007】 そこで、更に、低雑音特性を維持したまま高出力を得るためには、図8に示すように光ファイバ増幅装置70の増幅部を2段にする方法がある。図8において、71は前段の励起光源、72、73は後段の励起光源、74は前段の増幅光ファイバ、75は後段の増幅光ファイバである。前段光ファイバ増幅器70Aは波長

980nm で励起を行い低雑音特性を維持し、後段光ファイバ増幅器70Bは波長1480nmの励起光源72、73を双方向励起とすることで高出力特性を実現している。

【0008】上記のように、波長1480nmで双方向励起を行った場合、増幅光ファイバ75が励起光のエネルギーを吸収して十分な変換効率を確保して高出力を得るためには増幅光ファイバ長を長くする必要がある。こうした2段構成の光ファイバ増幅装置70において後段光ファイバ増幅器70Bの増幅光ファイバ75を長くすると、

総合NF＝前段部のNF＋〔（後段部NF-1）／前段部利得〕・・・（2）

【0009】ここで、前段部の利得が小さくなると後段部のNFが無視できなくなり、全体のNFが劣化するので、この後段部からのBackward ASEの影響を取り除くあるいは軽減する方法が要求されている。この要求に応えるものとして次の方法が提案されている。

（1）前段部と後段部の間に光アイソレータを挿入する方法；例えば、米国特許第5233463号公報。

（2）前段部と後段部の間に1530nm帯のASEを除去する光フィルタを挿入する方法；例えば、米国特許第5406411号公報。

（3）後段部の増幅光ファイバを相対的に短くして後段部にて発生するASEを小さく押さえる方法。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら上記の3つの方法を取ったとしても、光映像分配システムや波長多重通信に用いられる光ファイバ増幅装置では信号光の入力レベルが高いため前段部の利得が飽和状態となり前段部の利得が小さくなり、最終的に総合NFを劣化させてしまう。また図8に示す構成の光ファイバ増幅装置において、例えば前記軽減法（3）の方法を用いた場合には、波長1480nmの励起エネルギーが十分増幅光ファイバ75に吸収されず、残留励起エネルギーは無駄に捨てられ、結果として図7に示す特性例のように高出力が得られなくなってしまう。さらに、励起光源は100mW以上の光パワーを連続発振する必要があるため、高い信頼性が要求される。しかしながら、特に、波長980nmの励起光源では光学的に突然停止することが知られている。

【0011】そこで、光ファイバ増幅装置を使用するシステムの信頼性を増すためにも、光ファイバ増幅装置の励起方法および構成としては、波長980nmの励起光源が突然動作を停止した場合でも、他の励起光源により一定水準以上の光学特性を維持できることが望ましい。図8に示す構成の光ファイバ増幅装置において、例えば波長980nmの励起光源が動作を停止すると、前段の増幅光ファイバ74は光信号に対して吸収媒体となり、雑音指数の劣化および光出力パワーの低下を引き起こす。

【0012】本発明は上記の課題を解決し、入力光の信号レベルが高い場合でも、雑音特性を低く押さえたまま、+20dBmを上回る高出力で、波長980nmの励起光源が突然動作を停止した場合でも一定水準以上の光特性を維

後段部から逆進してくる増幅された自然放出光（以下、逆進してくる増幅された自然放出光を単にBackward ASEという。また自然放出光を単にASEという。ASE：Amplified Spontaneous Emission）が前段部の増幅光ファイバ74の利得を飽和させる方向に働き、前段光ファイバ増幅器70Aの利得を低下させる。2段構成の光ファイバ増幅装置の総合の雑音指数（NF）は、一般には次の（2）式で表される。

持できる光ファイバ増幅装置を提供することを目的とするものである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の課題を解決するために以下のような手段を有している。

【0014】本発明のうち請求項1の光ファイバ増幅装置は、前段部と後段部にそれぞれ希土類元素を添加した前段部増幅光ファイバと後段部増幅光ファイバを備えた光ファイバ増幅装置であって、前記前段部増幅光ファイバは信号光入力端に信号光と同方向に励起光を合波する第一の合波器と信号光出力端に信号光と逆方向に励起光を合波する第二の合波器を有し、前記後段部増幅光ファイバは信号光入力端が前記第二の合波器の出力端に接続され信号光出力端に信号光と逆方向に励起光を合波する第三の合波器を有し、前記第一の合波器には波長1480nmの励起光を発生する第一の励起光源が、前記第二の合波器には波長980nmの励起光を発生する第二の励起光源が、前記第三の合波器には波長1480nmの励起光を発生する第三の励起光源がそれぞれ接続されていることを特徴とする。

【0015】本発明のうち請求項2の光ファイバ増幅装置は、第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に光アイソレータが配置されていることを特徴とする。

【0016】本発明のうち請求項3の光ファイバ増幅装置は、第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に1530nm波長帯をカットするノッチフィルタが配置されていることを特徴とする。

【0017】本発明の請求項1の光ファイバ増幅装置によれば、前段部の増幅光ファイバの入力端に波長1480nmの励起光源と出力端に波長980nmの励起光源が接続されているので、入力信号光パワーが大きい場合でも前段部の増幅光ファイバは波長1480nmの励起光源の出力を大きく取れるため利得飽和を起こすことなく、あるいは利得飽和を小さく押さえることができ、十分な利得を確保できる。例えば、波長980nmの励起光源で実用的に得られている励起光パワーは90mW程度であるのに対し、波長1480nmの励起光源では140mW程度まで得られている。一方、光ファイバ増幅装置全体の雑音指数は前段部の雑音指数に支配されることになるが、前段部の増幅光ファイ

20

30

40

50

は波長980nmでも励起を行っているので前段部の増幅光ファイバの雑音指数は理論値3dBにより近い良好な特性を維持可能であり、光ファイバ増幅装置総合の雑音指数としても良好な特性を得ることができる。

【0018】また、前段部の増幅光ファイバの入力端には波長1480nmの励起光源が接続されているため、前段部の増幅光ファイバで吸収されなかった励起光の残留励起エネルギーは前段部と後段部を接続する合波器を通過して後段部の増幅光ファイバに達し、後段部増幅光ファイバの励起に寄与するため、励起エネルギーが無駄にならずに有効に利用される。

【0019】更に、前段部と後段部の間に光アイソレータ等の非相互素子が接続されていない場合には、後段部の増幅光ファイバの出力端に接続されている波長1480nmの励起光源の励起光が後段部の増幅光ファイバにて吸収されず残留しても、この残留励起エネルギーは前段部と後段部を接続する合波器を通過して前段部の増幅光ファイバに達し、前段部増幅光ファイバの励起に寄与するため、励起エネルギーが無駄にならずに有効に利用される。したがって、本発明の光ファイバ増幅器では+20dBmの高出力を得ることができる。

【0020】更にまた、前段部の波長980nmの励起光源が動作を停止しても、前段部および後段部の増幅光ファイバには波長1480nmの励起光が引き続き入射されるので、わずかに雑音特性と出力特性が劣化するのみであり、一定水準以上の光源特性を維持できる。

【0021】本発明の請求項2の光ファイバ増幅装置によれば、第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に光アイソレータが配置されているので、後段部からの Backward ASE が前段部に到達するのが防止され、前段部の利得飽和を小さくすることができる。第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に配置された光アイソレータは、例えば波長1480nmに対する挿入損失は約0.6dB程度と小さいため前段部の波長1480nmの残留励起光は後段部まで達することができ、励起エネルギーを有効に活用することができる。

【0022】本発明の請求項3の光ファイバ増幅装置によれば、第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に1530nm波長帯をカットするノッチフィルタが配置されているので、後段部からの Backward ASE が前段部に到達するのが防止され、前段部の利得飽和を小さくすることができる。第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に配置された1530nm波長帯をカットするノッチフィルタは、例えば波長1480nmに対する挿入損失は約0.5dB程度と小さいため前段部の波長1480nmの残留励起光は後段部まで達することができ、励起エネルギーを有効に活用することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下に本発明に係る光ファイバ増幅装置の実施の形態について図1ないし図5を参照して

より詳細に説明する。

【0024】（実施の形態1）図1に示す光ファイバ増幅装置10は、前段部増幅器10Aと後段部増幅器10Bの2段で増幅するもので、前段部増幅器10Aと後段部増幅器10Bのそれぞれに前段部増幅光ファイバ11と後段部増幅光ファイバ12を備えている。前段部増幅光ファイバ11は信号光入力端13に信号光と同方向に励起光を合波する第一の合波器14が接続され、信号光出力端15に信号光と逆方向に励起光を合波する第二の合波器16が接続されている。第一の合波器14には波長1480nmの励起光を発生する第一の励起光源17が、第二の合波器には波長980nmの励起光を発生する第二の励起光源18がそれぞれ接続されている。

【0025】後段部増幅光ファイバ12の信号光入力端19は第二の合波器16の出力端に接続され、後段部増幅光ファイバ12の信号光出力端20には信号光と逆方向に励起光を合波する第三の合波器21が接続されている。第三の合波器21には波長1480nmの励起光を発生する第三の励起光源22が接続されている。図1において、23は入力側光アイソレータ、24は出力側光アイソレータである。

【0026】（具体例）図1に示す光ファイバ増幅装置10の一具体例を以下に示す。

前段部増幅光ファイバ11の長さ：6m。

後段部増幅光ファイバ12の長さ：20m。

前段部増幅器10Aの入力側光部品のトータルの挿入損失：0.9dB。

前段部増幅器10Aの出力側光部品のトータルの挿入損失：0.8dB。

前段部増幅器10Aの合波器14に対する波長1480nmの励起光の挿入損失：0.4dB。

前段部増幅器10Aと後段部増幅器10Bの間の第二の合波器16に対する波長980nmの励起光の挿入損失：0.4dB。

前段部増幅器10Aと後段部増幅器10Bの間の第二の合波器16に対する信号光の挿入損失：0.5dB。

後段部増幅器10Bの第三の合波器21に対する波長1480nmの励起光の挿入損失：0.4dB。

増幅光ファイバ11、12のパラメータ：

モードフィールド径：7.0μm。

Erイオン濃度：1000ppm。

Alイオン濃度：30000ppmw。

【0027】図2に上記の光ファイバ増幅装置10の特性を示す。図2において横軸は励起光パワー、縦軸左側は出力光パワー、縦軸右側は雑音指数である。出力光パワーは後段部増幅器10Bの増幅光ファイバ12の信号光出力端20での値であり、雑音指数は入力側の合波器14等の光部品の挿入損失の値を含まない値である。また励起光パワーは直接増幅光ファイバ11、12に入射される光パワーを示している。波長1480nmの励起光パワ

一は、前段部増幅器10Aの第一の励起光源17と後段部増幅器10Bの第三の励起光源22の波長1480nmの励起光パワーの総和を示している。

【0028】本実施の形態では、両励起光源17、22の励起光パワーは等しくなるように調整してある。また、本実施の形態においては、例えば実用的に得られる波長1480nm、出力140mWの励起レーザモジュールを使用した場合、合波器14、21の挿入損失が0.4dBであるのでそれぞれの増幅光ファイバ11、12に入射される波長1480nmの励起光パワーは各々約128mWであり、両者の励起光パワーのトータルは約255mWである。この場合、図2より後段増幅器10Bの出力端20Aで22.8dBmが得られ、後段増幅器10Bの光部品品のトータルの挿入損失が0.8dBであるので、光ファイバ増幅装置10の出力として22.0dBmという高出力が得られている。また雑音指数としても、入力信号光パワーが0dBmという高い入力レベルにもかかわらず、理論限界値3dBに近い4.5dB前後を実現している。

【0029】（実施の形態2）図3に本発明の他の実施の形態の光ファイバ増幅装置30を示す。光ファイバ増幅装置30の特徴は、前段部増幅器10Aの第二の合波器16と後段部増幅器10Bの間に光アイソレータ31を配置したことである。その他の構成は実施の形態1と同様に付き同一部材には同一の符号を付して詳細な説明を省略する。光アイソレータ31を第二の合波器16と後段部増幅器10Bの間に配置することによって、後段部増幅器10BからのBackward ASEを前段部増幅器10Aに到達するのを防ぐことができるので、前段部増幅器10Aの利得飽和をより小さくすることができる。また、光アイソレータ31は、例えば波長1480nmに対する挿入損失が約0.6dB程度と小さいので、前段部増幅器10Aの第一の励起光源17の波長1480nmの残留励起光パワーは後段部増幅器10Bまで達することができ、励起エネルギーを有効に活用することができる。

【0030】（実施の形態3）図4に本発明のその他の実施の形態の光ファイバ増幅装置40を示す。光ファイバ増幅装置40の特徴は、前段部増幅器10Aの第二の合波器16と後段部増幅器10Bの間にASEレベルが他の波長よりも大きい1530nm波長帯をカットするノッチフィルタ41を配置したことである。その他の構成は実施の形態1と同様に付き同一部材には同一の符号を付して詳細な説明を省略する。ノッチフィルタ41を第二の合波器16と後段部増幅器10Bの間に配置することによって、後段部増幅器10BからのBackward ASEを前段

部増幅器10Aに到達するのを防ぐことができるので、前段部増幅器10Aの利得飽和をより小さくすることができる。また、1530nm波長帯をカットするノッチフィルタ41は、例えば波長1480nmに対する挿入損失が約0.5dB程度と小さいので、前段部増幅器10Aの第一の励起光源17の波長1480nmの残留励起光パワーは後段部増幅器10Bまで達することができ、励起エネルギーを有効に活用することができる。

【0031】（実施の形態4）図5に本発明のその他の実施の形態の光ファイバ増幅装置50を示す。光ファイバ増幅装置50の特徴は、後段部増幅器10Bの出力端20Aに分岐器51を設けて光ファイバ増幅装置50の出力光パワーを受光器52でモニターするように構成されていることである。受光器52でモニターした光ファイバ増幅装置50の出力光パワーの結果を光ファイバ増幅器53を内蔵した光出力一定制御回路54に送り、前段部増幅器10Aの第一の励起光源17と後段部増幅器10Bの第三の励起光源22の波長1480nmの励起光パワーを制御して光ファイバ増幅装置50の出力光パワーを一定に維持する。図5において、55は前段部増幅器10Aの第二の励起光源18の駆動電流を一定にする制御回路である。その他の構成は実施の形態1と同様に付き同一部材には同一の符号を付して詳細な説明を省略する。

【0032】この光ファイバ増幅装置50によれば、波長980nmの第二の励起光源18が動作を停止した場合に波長1480nmの第一の励起光源17と第三の励起光源22の励起光パワーが増加するので光ファイバ増幅装置50の光出力を一定に維持することができる。また、波長980nmの第二の励起光源18が動作を停止しても波長1480nmの第一の励起光源17による増幅光ファイバ11への励起が続けられるので、雑音指数の劣化は一部に留まる。

【0033】表1は本実施の形態の光ファイバ増幅装置50と図8に示す従来の光ファイバ増幅装置70の波長980nmの励起光源が停止した場合の光学特性の変化の比較を示すものである。波長980nmの励起光源が停止した場合、従来の光ファイバ増幅装置70では前段部増幅器の前段部増幅光ファイバが入力信号光に対して吸収媒体となり、雑音指数が著しく劣化しているのがわかる。これに対して、本実施の形態の光ファイバ増幅装置50では劣化量はごくわずかとなっている。

【0034】

【表1】

波長980nm の励起光源が停止した場合の光学特性  
信号光の波長1550nm

構成	光出力低下量	雑音指数劣化量
図8の増幅装置	5.5 dB	12 dB
図5の増幅装置	0 dB	0.5 dB

#### 【0035】

【発明の効果】以上述べたように、本発明の請求項1の光ファイバ増幅装置によれば、前段部の増幅光ファイバの入力端に波長1480nmの励起光源と出力端に波長980nmの励起光源が接続されているので、入力信号光パワーが大きい場合でも前段部の増幅光ファイバは波長1480nmの励起光源の出力を大きく取れるので利得飽和を起こすことなく十分な利得を確保できる。また、利得飽和を小さく押さえることができるので十分な利得を確保できる。一方、光ファイバ増幅装置全体の雑音指数は前段部の雑音指数に支配されることになるが、前段部の増幅光ファイバは波長980nmでも励起を行っているので前段部の増幅光ファイバの雑音指数は理論値3dBにより近い良好な特性を維持可能であり、光ファイバ増幅装置総合の雑音指数としても良好な特性を得ることができる。

【0036】また、前段部の増幅光ファイバの入力端には波長1480nmの励起光源が接続されているため、前段部の増幅光ファイバで吸収されなかった励起光の残留励起エネルギーは前段部と後段部を接続する合波器を通過して後段部の増幅光ファイバに達し、後段部増幅光ファイバの励起に寄与するため、励起エネルギーが無駄にならずに有効に利用される。

【0037】更に、前段部と後段部の間に光アイソレータ等の非相互素子が接続されていない場合には、後段部の増幅光ファイバの出力端に接続されている波長1480nmの励起光源の励起光が後段部の増幅光ファイバにて吸収されず残留しても、この残留励起エネルギーは前段部と後段部を接続する合波器を通過して前段部の増幅光ファイバに達し、前段部増幅光ファイバの励起に寄与するため、励起エネルギーが無駄にならずに有効に利用される。したがって、本発明の光ファイバ増幅器では+20dBm以上の高出力を得ることができる。

【0038】更にまた、前段部の波長980nmの励起光源が動作を停止しても、前段部および後段部の増幅光ファイバには波長1480nmの励起光が引き続き入射されるので、わずかに雑音特性と出力特性が劣化するのみであり、一定水準以上の光学特性を維持できる。

【0039】本発明の請求項2の光ファイバ増幅装置によれば、第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に光アイソレータが配置されているので、後段部からの Backward ASE が前段部に到達するのが防

止され、前段部の利得飽和を小さくすることができる。第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に配置された光アイソレータは、例えば波長1480nmに対する挿入損失は約0.6dB程度と小さいため前段部の波長1480nmの残留励起光は後段部まで達することができ、励起エネルギーを有効に活用することができる。

【0040】本発明の請求項3の光ファイバ増幅装置によれば、第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に1530nm波長帯をカットするノッチフィルタが配置されているので、後段部からの Backward ASE が前段部に到達するのが防止され、前段部の利得飽和を小さくすることができる。第二の合波器の出力端と後段部増幅光ファイバの入力端の間に配置された1530nm波長帯をカットするノッチフィルタは、例えば波長1480nmに対する挿入損失は約0.5dB程度と小さいため前段部の波長1480nmの残留励起光は後段部まで達することができ、励起エネルギーを有効に活用することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光ファイバ増幅装置の一実施の形態を示す説明図である。

【図2】図1の光ファイバ増幅装置の光学特性の説明図である。

【図3】本発明の光ファイバ増幅装置の他の実施の形態を示す説明図である。

【図4】本発明の光ファイバ増幅装置のその他の実施の形態を示す説明図である。

【図5】本発明の光ファイバ増幅装置のさらにその他の実施の形態を示す説明図である。

【図6】従来の光ファイバ増幅装置の一例を示す説明図である。

【図7】図7（イ）、（ロ）は図6の従来の光ファイバ増幅装置の光学特性を示す説明図である。

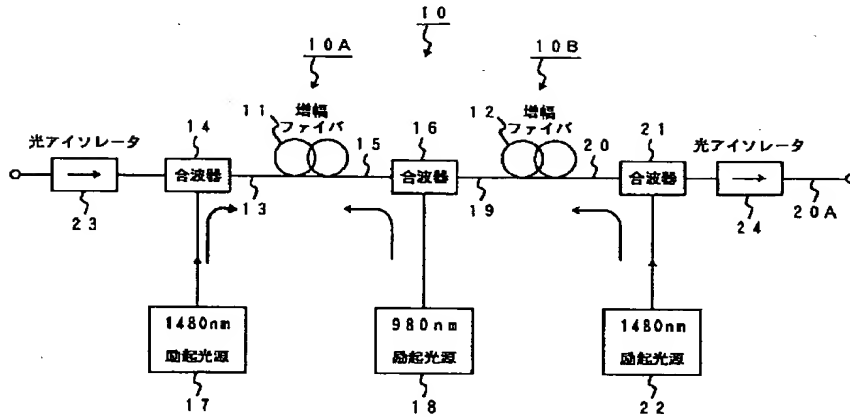
【図8】従来の光ファイバ増幅装置の他の例を示す説明図である。

#### 【符号の説明】

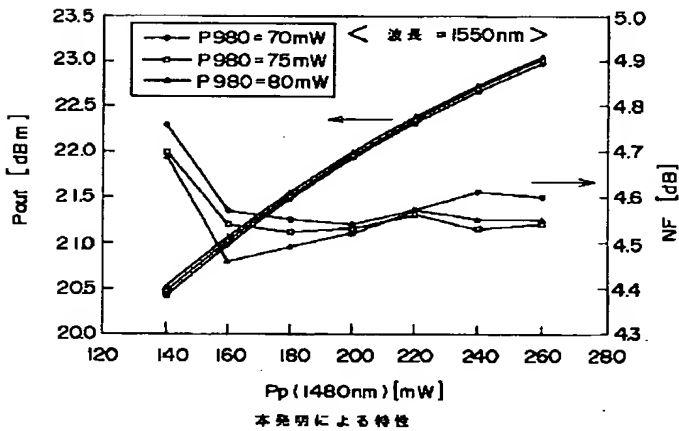
- 10 光ファイバ増幅装置
- 10A 前段部増幅器
- 10B 後段部増幅器
- 11 前段部増幅光ファイバ
- 12 後段部増幅光ファイバ
- 13 前段部増幅光ファイバの信号光入力端

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 14 第一の合波器            | 20 後段部増幅光ファイバの信号光出力端 |
| 15 前段部増幅光ファイバの信号光出力端 | 20A 光ファイバ増幅装置の出力端    |
| 16 第二の合波器            | 21 第三の合波器            |
| 17 第一の励起光源           | 22 第三の励起光源           |
| 18 第二の励起光源           | 23 光アイソレータ           |
| 19 後段部増幅光ファイバの信号光入力端 | 24 光アイソレータ           |

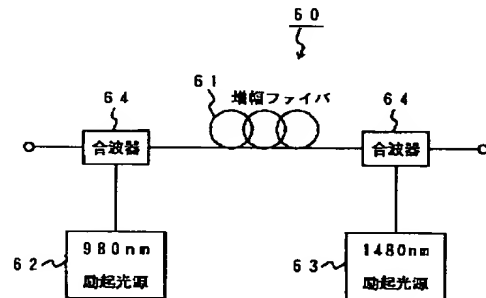
【図1】



【図2】

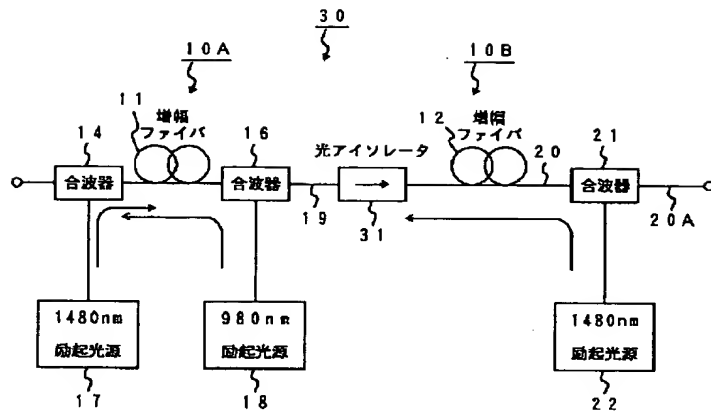


【図6】

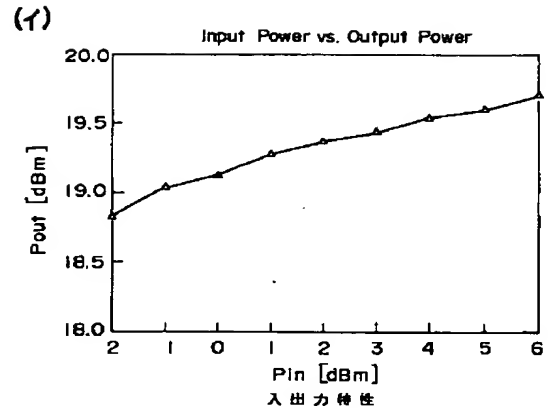




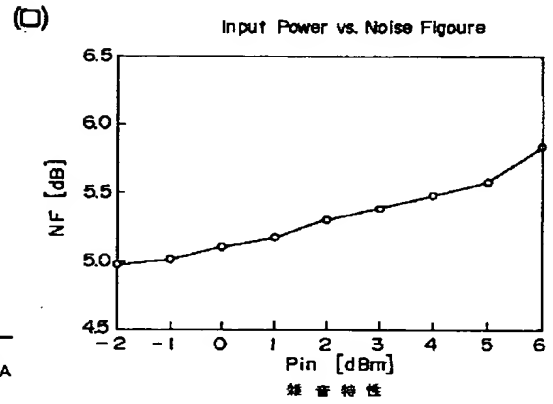
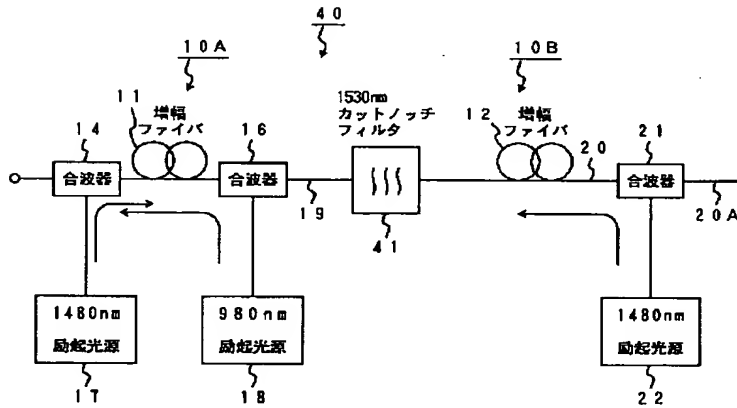
【図3】



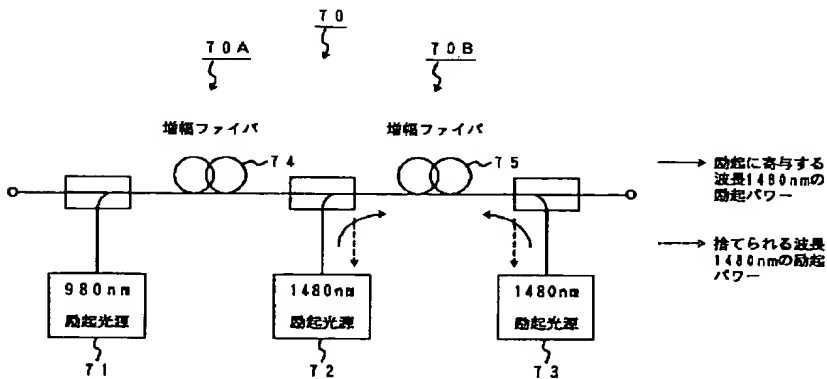
【図7】



【図4】



【図8】



【図5】

